

Условие аperiodического режима будет $\sqrt{B^2 - 4A} = D \geq 0$. Решая /10/ и переходя к относительным единицам /как и ранее см. выше/, получаем:

$$i = \frac{1 - U_c(0)}{\tau_1(\rho_1 - \rho_2)} (e^{\rho_1 t} - e^{\rho_2 t}). \quad /20/$$

Напряжение на ёмкости в операторной форме:

$$U_c^*(p) = \frac{1}{Cp} i^*(p) + U_c^*(0);$$

откуда, после решения, преобразования и перехода к относительным единицам, окончательно имеем:

$$U_c = 1 - \frac{1 - U_c(0)}{\rho_1 - \rho_2} (\rho_1 e^{\rho_2 t} - \rho_2 e^{\rho_1 t}). \quad /21/$$

Напряжение на индуктивности $U_L^*(p) = pL i^*(p)$.

После решения и преобразования получаем в относительных единицах:

$$U_L = \frac{1 - U_c(0)}{\rho_1 - \rho_2} (\rho_1 e^{\rho_1 t} - \rho_2 e^{\rho_2 t}). \quad /22/$$

Для случая $D = 0$ /граница аperiodического режима/, после раскрытия неопределенностей при $D \rightarrow 0$, получаем

$$i = \frac{1 - U_c(0)}{\tau_1} t e^{-\frac{t}{2\tau_1}}, \quad /23/$$

$$U_c = 1 - [1 - U_c(0)] \left(1 + \frac{t}{2\tau_1}\right) e^{-\frac{t}{2\tau_1}}, \quad /24/$$

$$U_L = [1 - U_c(0)] \left(1 - \frac{t}{2\tau_1}\right) e^{-\frac{t}{2\tau_1}}. \quad /25/$$

Полагая $L \rightarrow 0$, получаем выражения для цепи εC , включаемой на постоянное напряжение при $U_c(0) \neq 0$ в ви-

¹ См. стр. 1-9 в № файла //conf.rae.ru/article/.., должно быть, на единицу меньше № данного файла.

де:

$$i = [1 - u_c(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /26/$$

$$u_c = 1 - [1 - u_c(0)] e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad /27/$$

где: $\tau = zC$.

Анализ полученных зависимостей /20/ ÷ /25/ показывает, что выражения для характерных точек /максимума, перегиба и т.д./ и для точек t_z и t_u остаются прежними /см. /11/ ÷ /18/ /; т.е. начальный заряд конденсатора на положение характерных точек влияния не оказывает. Это соответствует и физике явлений, ибо все характерные точки зависят только от параметров схемы, но не от начальных условий.

В заключение из условия $D = 0$ получим выражение для критической величины индуктивности, при превышении которой возникает колебательный режим.

$$D = \sqrt{B^2 - 4A} = 0; \text{ отсюда } B^2 = 4A,$$

$$B = zC; \quad A = LC; \quad z^2 C^2 = 4LC,$$

откуда

$$\boxed{L_{кр} = \frac{z^2 C}{4}}. \quad /28/$$

Ниже, в приложении I, приведен пример расчёта конкретных цепей zLC , иллюстрирующий изложенный материал.

ВЫВОДЫ

I. В работе исследовано влияние индуктивности на процессы в цепи zLC , включаемой на постоянное напряжение при апериодическом режиме.

Приведены зависимости для определения тока, напряжений и ряда характерных точек, позволяющие быстро и полностью исследовать рассматриваемую схему.

Результаты работы могут быть использованы как при анализе работы выпрямителей с ёмкостью на выходе и стабилизаторов напряжения /или тока/ низких и высоких напряжений, так и для выбора элементов этих устройств.

2. При аперiodическом режиме изменение величины ε /при L и C постоянных/ или C /при L и ε постоянных/ принципиальной картины процессов не изменяет. Изменяются лишь время ^{сна} наступления максимума тока, напряжения на индуктивности и т.д., а качественный характер процессов остаётся без изменений /аналогично изложенному в работе, как показано на рис. 2./.
- Индуктивность в цепи εLC вносит качественные изменения /по сравнению с цепью εC /, замедляя процесс заряда ёмкости до определённого момента времени и затем ускоряя процесс заряда. С точки зрения физики явлений это может быть объяснено следующим образом: единственной величиной, изменяющей свой знак, является напряжение на индуктивности, которое или направлено навстречу основной ЭДС E (тогда процесс заряда ёмкости замедляется по сравнению с цепью εC) /или (после момента времени t_1) совпадает с ЭДС E , и тогда заряд ускоряется, ибо индуктивность отдаёт в ёмкость энергию, запасённую ранее /до $t = t_1$ / в магнитном поле.
3. Результаты работы могут быть использованы так же в импульсной технике, поскольку схема εLC весьма широко используется в качестве зарядной цепи в модуляторах, генераторах импульсов и т.д.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Пример расчёта цепи zLC .

$$z = 3 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

Проведем расчёт и построим графики для $\sqrt{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ф}$ при $L = 0$; $L = 4 \text{ гн.}$ для нулевых $[u_c(0) = 0]$ и ненулевых $[u_c(0) = 0,5]$ начальных условий.

1. Определяем все необходимые коэффициенты /случай $L = 4 \text{ гн.}$ /

$$A = LC = 4 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-6},$$

$$B = zC = 3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-3},$$

$$D = \sqrt{B^2 - 4A} = 10^{-3} \sqrt{36 - 32} = 2 \cdot 10^{-3},$$

$$P_1 = \frac{-B + D}{2A} = -0,25 \cdot 10^3,$$

$$P_2 = \frac{-B - D}{2A} = -0,5 \cdot 10^3.$$

2. Определяем время максимума тока / оно же время перегиба кривой u_c и время, при котором $u_c = 0$ /.

$$\text{Из /II/: } t_1 = \frac{A}{D} \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-3}} \ln \frac{-0,5 \cdot 10^3}{-0,25 \cdot 10^3} = 4 \cdot 0,693 \cdot 10^{-3} \approx 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ сек.}$$

3. Определяем время максимума /по абсолютной величине/ напряжения u_L /оно же время перегиба кривой i /.

$$t_2 = 2 t_1 = 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ сек.}$$

4. Определяем время перегиба кривой u_L

$$t_3 = 3 t_1 = 8,35 \cdot 10^{-3} \text{ сек.}$$

5. Определяем время t_i пересечения кривых тока i для случая $L = 0$ и $L = 4 \text{ гн.}$

Из /I4/, подставив все коэффициенты и учитывая, что $\tau = zC = 6 \cdot 10^{-3}$, получаем:

$$0,333 = e^{-83,3 t_i} - e^{-333,3 t_i}.$$

Решаем это уравнение графоаналитически: задаём произвольно t_i , вычисляем правую часть и сравниваем с левой. При этом, задавая t_i , следует исходить из следующего примерного соотношения: $0,7 t_1 \leq t_i \leq 0,8 t_1$, что значительно сокращает

время вычислений.

В результате получаем $t_i = 2 \cdot 10^{-3}$ сек.

6. Определим время t_u пересечения графиков u_c для случаев $L = 0$ и $L = 4$ гн.

Из /15/ получаем: $i = 2 e^{-83,3 t_u} - e^{-333,3 t_u}$.

Решая аналогично п. 5, получаем $t_u = 8 \cdot 10^{-3}$ сек.

Отметим, что для ускорения расчётов следует задавать t_u в пределах $2,5 t_1 \leq t_u < 3 t_1$.

7. Далее рассматриваем случай $u_c(0) = 0$ при $L = 4$ гн $\neq 0$.

Зная $i'(0) = 0$; $u_c(0) = 0$; $u_L(0) = 1$;

$i(\infty) = 0$; $u_c(\infty) = 1$; $u_L(\infty) = 0$

и величины t_1, t_2, t_3, t_i, t_u , выбираем дополнительные точки, в которых следует при точном построении графиков вычислить значения функций. /Если точные графики не требуются, достаточно вычислить u_c, u_L, i в точках t_1, t_2, t_3, t_i, t_u /.

В качестве дополнительных точек достаточно взять по одной точке в каждом из промежутков:

$0 \div t_i, t_1 \div t_2, t_2 \div t_3, t_3 \div \infty$.

Для нашего случая возьмём следующие точки / см. табл. 1, приложение 1/. При составлении таблицы 1, предварительно из /1/ + /3/ получаем зависимости

$$i = 3(e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}), \quad /1 /$$

$$u_c = 1 - (2e^{-0,25 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}), \quad /2 /$$

$$u_L = 2e^{-0,5 \cdot 10^3 t} - e^{-0,25 t}. \quad /3 /$$

Проводя вычисления, заполняем таблицу 1.

Приложение 1

Таблица №1

для $L = 4 \text{ мГ}$, $C = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, $\nu = 3 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $U_C(0) = 0$

$(P_1 = -0,25 \cdot 10^3, P_2 = -0,5 \cdot 10^3)$.

t	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^{-3}$	$4,20 \cdot 10^{-3}$	$5,56 \cdot 10^{-3}$	$8,35 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	∞
$0,25 \cdot 10^3 t$	0,35	0,5	0,695	1,05	1,39	2,085	2,5	3,75	∞
$0,5 \cdot 10^3 t$	0,7	1	1,390	2,1	2,78	4,175	5,0	7,50	∞
$e^{-0,25 \cdot 10^3 t}$	0,70469	0,60653	0,49907	0,34994	0,24908	0,124307	0,08810	0,02350	0
$e^{-0,5 \cdot 10^3 t}$	0,49559	0,35788	0,24908	0,122455	0,06204	0,01537	0,00574	0,00055	0
$2m$	1,40938	1,21306	0,99814	0,69988	0,49818	0,248514	0,1642	0,0470	0
$2m_1$	0,99318	0,73576	0,49816	0,244912	0,12408	0,03174	0,01348	0,00110	0
$i = (m - m_1) / 3$	0,625	0,72	0,75	0,682	0,561	0,328	0,226	0,0888	0
$U_L = 2m_1 - m$	0,28849	0,18988	0	-0,10503	-0,125	-0,057567	-0,06862	-0,0224	0
$2m - m_1 = m_2$	0,91179	0,84518	0,74906	0,57743	0,436012	0,233244	0,15746	0,04655	0
$U_C = 1 - m_2$	0,08821	0,15482	0,25094	0,48257	0,563988	0,766755	0,84254	0,95345	1

$i = (e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}) / 3$; $U_C = 1 - (2e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t})$; $U_L = 2e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}$.

8. Рассматриваем случай $L = 4 \text{ гн} \neq 0$; $U_C(0) = 0,5 \neq 0$.

На основании /20/ + /22/ получаем:

$$i = (e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}) \cdot 1,5,$$

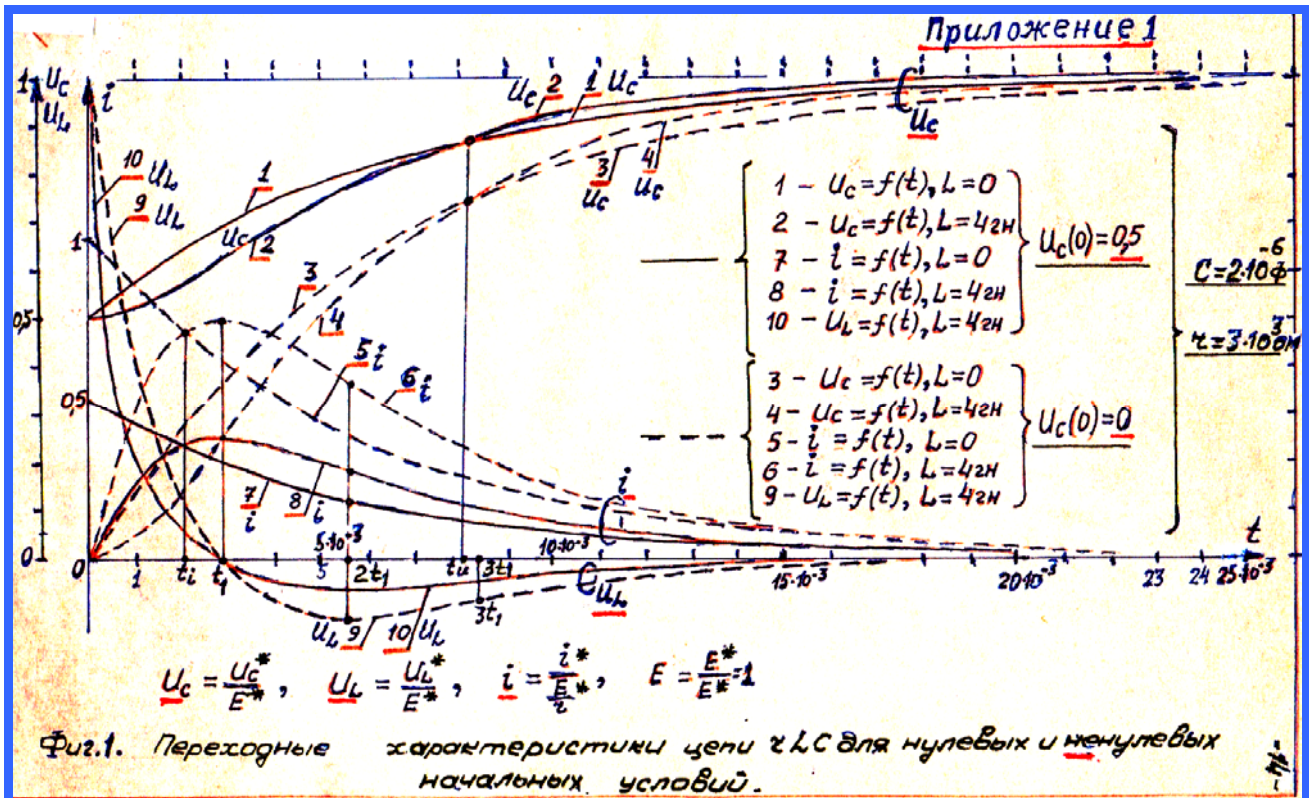
$$U_C = 1 - 0,5(2e^{-0,25 \cdot 10^3 t} - e^{-0,5 \cdot 10^3 t}),$$

$$U_L = 0,5(2e^{-0,5 \cdot 10^3 t} - e^{-0,25 \cdot 10^3 t}).$$

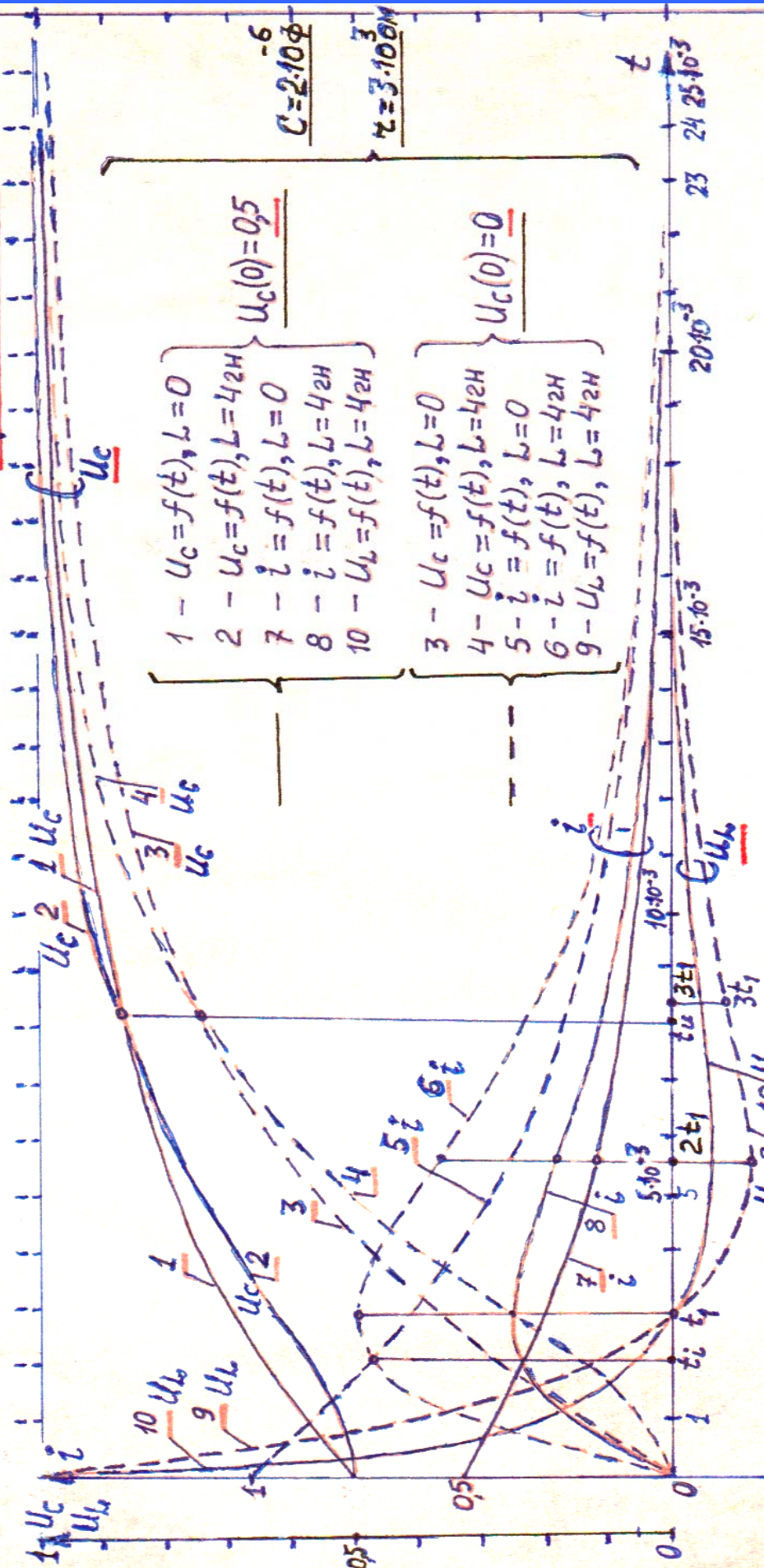
Сравнивая эти выражения с /1/ + /3/ и используя данные таблицы I, сразу получаем все величины, необходимые для построения графиков.

9. По выражениям /6/, /7/ и /26/, /27/ аналогично вышеизложенному строим графики для случая $L = 0$ при $U_C(0) = 0$ и $U_C(0) = 0,5$.

10. По полученным данным строим графики **Фиг. 1** приложения I.



Приложение 1



Фиг.1. Переходные характеристики цепи τLC для нулевых и ненулевых начальных условий.

На этом данное выше исследование заканчивается. Но продолжение темы последует. Была Часть 3.
 © А.М. Репин. 1966, -67, -68, -69. 6.9.2015.